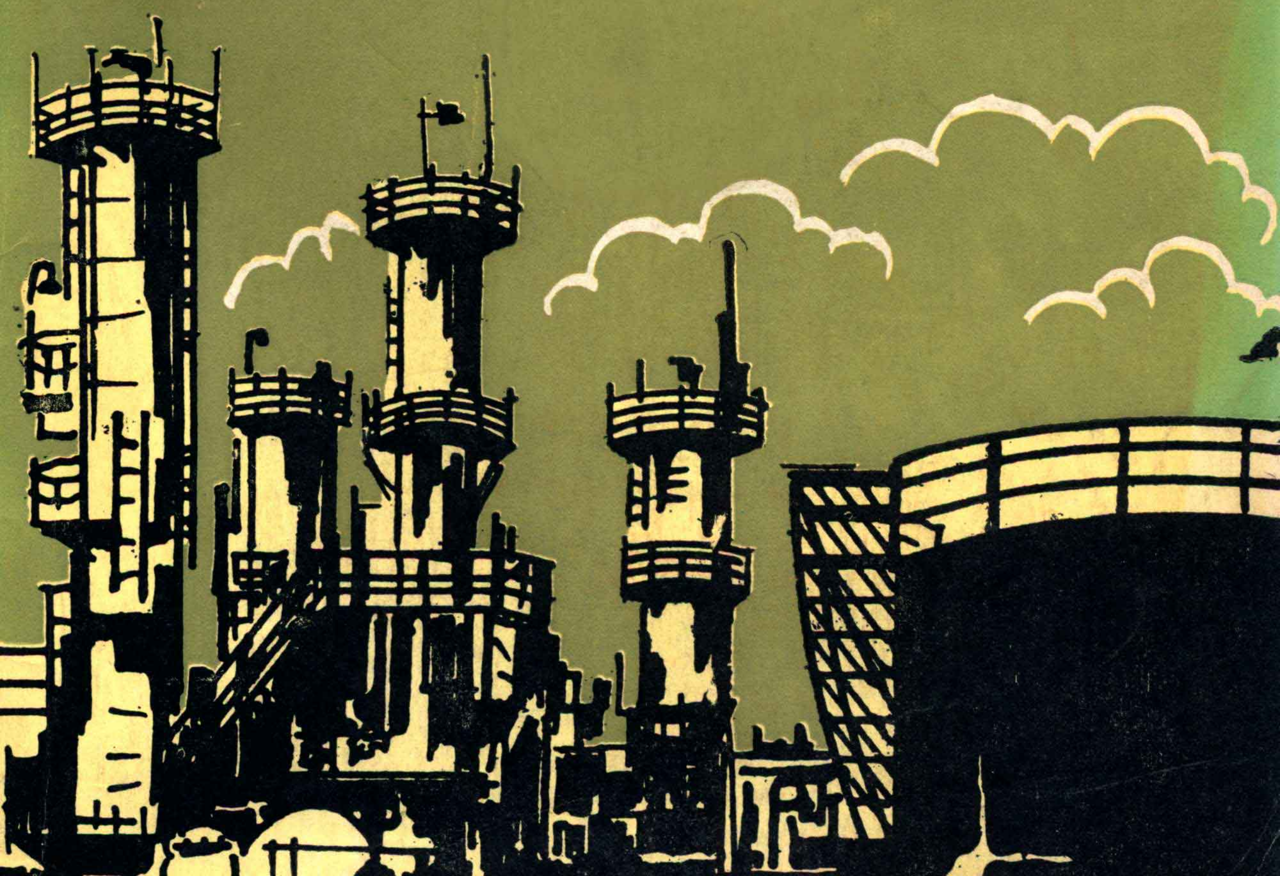
张士波 编

化工设备机械基础
学习指导



化工设备机械基础学习指导

张士波　编

中央广播电视大学出版社

化工设备机械基础学习指导
张士波 编
*
中央广播电视大学出版社出版
新华书店北京发行所发行
*
开本 787×1092 1/16 印张 5.25 千字 131
1987年8月第1版 1987年8月第1次印刷
印数 1—10,000
ISBN7-304-00022-8/TQ·2 定价 1.00 元

编 写 说 明

本辅导材料是为学习电大化工设备机械基础课程的学生和辅导教师编写的，它与一九八五年中央电大出版社出版的《化工设备机械基础》(唐尔钧、詹长福合编)教材配套使用。

辅导材料中每章分为三部分：第一部分为基本要求，按大纲的要求，提出每章的重点及应该掌握的内容；第二部分为学习提要，提出了每章应该掌握的概念、定义、公式和主要内容，并编写了部分例题；第三部分为思考题与习题答案，为了便于学生复习，编了一定数量的思考题，并给出习题答案供学生做题时参考。

第十六章轮系和减速器作为选学和自学内容，在本材料中不作阐述。

编者

1987年 3 月

目　录

绪论……………………………………………………………………………………（1）
第一篇　工程力学基础……………………………………………………………（2）
第一章　物体的受力分析及其平衡条件…………………………………………（2）
I. 基本要求……………………………………………………………………………（2）
II. 学习提要…………………………………………………………………………（2）
III. 思考题与习题答案………………………………………………………………（7）
第二章　直杆的拉伸与压缩…………………………………………………………（9）
I. 基本要求……………………………………………………………………………（9）
II. 学习提要…………………………………………………………………………（9）
III. 思考题与习题答案………………………………………………………………（15）
第三章　剪切与圆轴的扭转…………………………………………………………（17）
I. 基本要求……………………………………………………………………………（17）
II. 学习提要…………………………………………………………………………（17）
III. 思考题与习题答案………………………………………………………………（24）
第四章　直梁的弯曲…………………………………………………………………（26）
I. 基本要求……………………………………………………………………………（26）
II. 学习提要…………………………………………………………………………（26）
III. 思考题与习题答案………………………………………………………………（34）
第五章　组合变形时杆件的强度计算………………………………………………（36）
I. 基本要求……………………………………………………………………………（36）
II. 学习提要…………………………………………………………………………（36）
III. 思考题与习题答案………………………………………………………………（39）
第二篇　薄壁容器设计………………………………………………………………（40）
第六章　化工设备常用材料…………………………………………………………（40）
I. 基本要求……………………………………………………………………………（40）
II. 学习提要…………………………………………………………………………（40）
III. 思考题……………………………………………………………………………（42）
第七章　内压薄壁容器的应力分析…………………………………………………（43）
I. 基本要求……………………………………………………………………………（43）
II. 学习提要…………………………………………………………………………（43）
III. 思考题与习题答案………………………………………………………………（47）
第八章　内压薄壁圆筒与球壳的设计………………………………………………（49）
I. 基本要求……………………………………………………………………………（49）
II. 学习提要…………………………………………………………………………（49）
III. 思考题与习题答案………………………………………………………………（51）
第九章　内压薄壁容器的封头设计…………………………………………………（53）
I. 基本要求……………………………………………………………………………（53）

II. 学习提要……(53)
III. 思考题与习题答案……(55)
第十章 外压容器的设计……(56)
I. 基本要求……(56)
II. 学习提要……(56)
III. 思考题与习题答案……(58)
第十一章 容器附件……(59)
I. 基本要求……(59)
II. 学习提要……(59)
III. 思考题与习题答案……(60)
第三篇 机械传动……(61)
第十二章 机械传动设计概论……(61)
I. 基本要求……(61)
II. 学习提要……(61)
III. 思考题与习题答案……(63)
第十三章 带传动……(64)
I. 基本要求……(64)
II. 学习提要……(64)
III. 思考题与习题答案……(66)
第十四章 齿轮传动……(67)
I. 基本要求……(67)
II. 学习提要……(67)
III. 思考题与习题答案……(70)
第十五章 蜗杆传动……(71)
I. 基本要求……(71)
II. 学习提要……(71)
III. 思考题……(72)
第十七章 轴……(73)
I. 基本要求……(73)
II. 学习提要……(73)
III. 思考题……(74)
第十八章 轴承……(75)
I. 基本要求……(75)
II. 学习提要……(75)
III. 思考题与习题答案……(77)

绪　　论

（大纲规定学时数：0.5）

“化工设备机械基础”是化工及轻工类各专业的一门重要技术基础课，它主要讲授有关工程力学、化工设备常用材料、化工容器以及机械传动方面的基础知识。课程的内容主要包括以下几部分：

一、工程力学基础　研究构件的受力情况，并进行受力大小的计算；研究材料的机械性能和构件受力后的变形规律，并对构件进行强度、刚度和稳定性的计算。

二、薄壁容器设计　了解化工设备常用材料的各种性能；研究化工容器及设备的类型、特点及其设计计算方法和标准零部件的选用等。

三、机械传动　研究几种常用传动装置的工作原理、失效形式和承载能力计算等；研究机械通用零部件的结构、设计计算方法和标准选用等。

上述三部分内容有着密切的联系，特别是工程力学基础，是学习容器设计和机械传动两部分所必备的基础知识。

在学习这门课程时，既要深刻理解基本概念，基本定律、定理和公式的意义，又要通过分析例题和完成一定量的习题，来提高运用基本理论分析问题和解决问题的能力。

第一篇　工程力学基础

在化工、轻工等工业生产中，有大量的结构物、设备和机器，它们都是由构件所组成的。构件在工作时，总要受到载荷的作用。为了使构件在载荷的作用下能正常工作而不损坏，也不发生过度的变形和不丧失稳定，就要求构件具有一定的强度(构件抵抗载荷而不损坏的能力)、刚度(构件抵抗变形的能力)和稳定性(构件抵抗丧失稳定的能力)。

因此，强度、刚度和稳定性问题，是我们所要研究的基本内容。本篇将只讨论强度和刚度问题，并且以强度问题为重点，着重讨论构件的强度计算。稳定性问题将放在第二篇的外压容器设计中去研究。

第一章　物体的受力分析及其平衡条件

(大纲规定学时数：11.5)

I. 基本要求

1. 掌握力的概念及力的基本性质，了解约束与约束反力，会取分离体画受力图；
2. 掌握平面汇交力系的简化方法及其平衡条件；
3. 掌握力矩和力偶的概念，了解力的平移定理；
4. 掌握平面一般力系向作用面内任意一点的简化，了解合力矩定理，掌握平面一般力系的平衡条件和平衡方程。

II. 学习提要

一、物体的受力分析

1. 静力学基本概念

物体受力后产生两种效应：外效应(运动状态发生变化)和内效应(变形)。静力学研究的是物体受力的外效应。

力是物体间相互的机械作用，这种作用使物体的运动状态发生改变，或使物体发生变形。力不能脱离实际物体而存在。

刚体是不变形的物体，它是力学中物体的一种抽象化模型。通过这种科学的抽象，将能更容易、更深刻地揭示物体受力平衡的规律。

2. 力的基本性质

二力平衡条件、加减平衡力系原理和力的可传性原理只适用于刚体，而不适用于变形体。

只受两个力作用而处于平衡的构件，称为二力构件。二力构件的受力特点是：所受的二力

必定沿作用点的连线。

作用力和反作用力虽然大小相等，方向相反，沿同一直线，但是作用在两个不同的物体上。

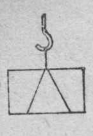
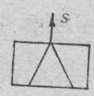
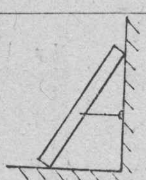
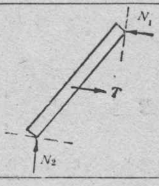
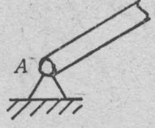
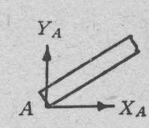
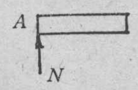
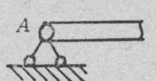
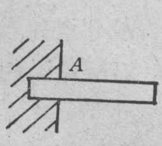
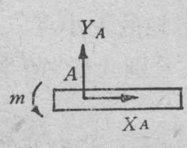
3. 约束与约束反力

物体受周围其它物体的限制，使它沿某些方向的运动成为不可能，这些周围的物体叫作该物体的约束。约束对被约束物体的作用力就称为约束反力。约束反力的方向总是和该约束所能限制的运动方向相反，这是确定约束反力方向的基本原则。

分析约束反力，要看约束是怎样限制物体的运动，根据约束的性质来判断约束反力的方向。

工程上常见的几种约束及约束反力见下表。对这些约束及约束反力要正确理解，熟练掌握。

几种典型的约束及约束反力

类型	简图	约束反力	
柔性体约束			约束反力的方向，只可能是沿着柔性体的中心线，并且是拉力。
光滑面约束			约束反力的方向，只可能是沿着接触表面的法线方向支承非自由体。
固定铰链约束			约束反力的方向不定，可以把它分解成水平方向和铅垂方向的两个分力。
活动铰链约束			约束反力的方向，是沿着支承面的公法线方向，且通过销钉的中心。
固定端约束			约束反力可以分解成为水平方向和铅垂方向的两个分力和一个约束反力偶。

4. 分离体和受力图

画受力图是解决工程力学问题的基本环节，必须熟练掌握。画受力图的步骤可归纳为以下三点：

（1）首先根据问题的要求，确定研究对象，将其从约束中分离出来。

（2）先画出已知力，如重力、载荷等。

(3) 分析约束的类型与特点，根据其性质画出约束反力。

二、平面汇交力系的简化与平衡

1. 平面汇交力系的简化

所谓平面汇交力系，即指作用于物体上的所有各力的作用线都在同一平面内，且汇交于一点的一种力系。平面汇交力系简化的结果是一个合力，它等于力系中各力的矢量和，即

$$\boldsymbol{R}=\boldsymbol{F}_1+\boldsymbol{F}_2+\cdots+\boldsymbol{F}_n=\Sigma\boldsymbol{F}$$

在几何法中，力的多边形封闭边表示合力$\boldsymbol{R}$的大小和方向。

在解析法中，合力$\boldsymbol{R}$的大小和方向按下列公式计算：

$$R=\sqrt{R_X^2+R_Y^2}=\sqrt{(\Sigma X)^2+(\Sigma Y)^2}$$

$$\mathrm{tg}\,\alpha=\frac{R_Y}{R_X}=\frac{\Sigma Y}{\Sigma X}$$

式中 α 为合力$\boldsymbol{R}$与 x 轴正向间的夹角。

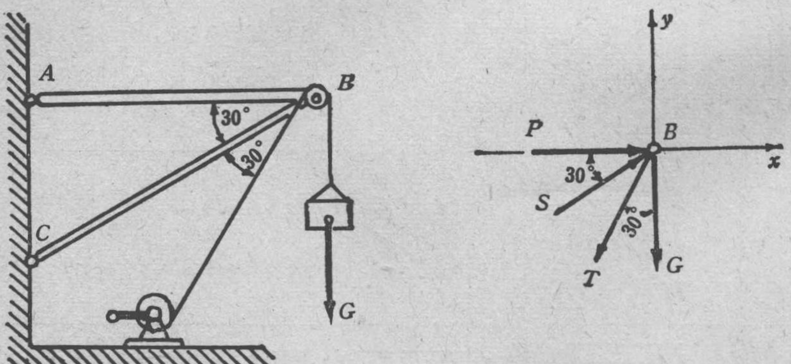
2. 平面汇交力系的平衡条件

平面汇交力系平衡的必要与充分条件是力系的合力为零，即

$$\boldsymbol{R}=\Sigma\boldsymbol{F}=0$$

在几何法中，平面汇交力系平衡的条件是：力系构成的力多边形自行封闭。

例 1-1 重为 $G=2$ kN 的物体被绞车匀速提升如图 1-1(a)，绞车上的绳绕过光滑的定滑轮 B，滑轮 B 由杆 AB 和 BC 支撑，A、B、C 三点都是铰链连接，杆 AB 和 BC 的自重不计，滑轮 B 的大小忽略不计，求杆 AB 和 BC 所受的力。



(a) (b)

图 1-1

解 选定滑轮B为研究对象。因为滑轮的大小可以不计，故将滑轮看成一点，画出B点的受力图，如图 1-1(b)所示。图中的P和S分别为杆 AB 和 BC 对滑轮的约束反力，$T=G$。

取坐标轴，列出平衡方程如下：

$$\Sigma X=0 \qquad P+S\cos 30°-T\sin 30°=0 \tag{a}$$

$$\Sigma Y=0 \qquad S\sin 30°-T\cos 30°-G=0 \tag{b}$$

由式(b)得

$$S\times 0.5-2\times 0.866-2=0$$

$$S=7.46\ \mathrm{kN}$$

代入(a)式得

$$P+7.46\times 0.866-2\times 0.5=0$$

$$P=-5.46\ \mathrm{kN}$$

力P计算结果为负值，表示其实际指向与受力图上画的指向相反。

由于AB和BC都是二力杆，它们的受力沿着杆的方向，所以P和S就分别是AB和BC杆所受的力，AB杆受拉力，BC杆受压力。

三、力矩　力偶　力的平移定理

1. 力矩

力矩是力学中的一个基本概念，它是度量力对物体的转动效应的物理量。力矩的计算公式为

$$M_0(\boldsymbol{F})=\pm Fd$$

应当注意，力臂d是指矩心到力的作用线的垂直距离。

2. 力偶

力偶是由大小相等、方向相反、作用线不重合的两个平行力所组成的特殊力系。力偶对物体只产生转动效应，可用力偶矩来度量，即

$$m=\pm Fh$$

式中的正、负号表示力偶的旋转方向。通常规定：力偶使物体作逆时针转动时，力偶矩为正；反之为负。h表示力偶臂，是两力作用线间的垂直距离。

力偶无合力，力偶不能与一个力相平衡，只能与另一个力偶相平衡。力偶最主要的性质是它的等效性，即在保持力偶矩不变的情况下，可以任意改变力和力偶臂的大小，并且力偶可以在其作用面内任意移动。力偶对其作用面内任意一点之矩为常量，都等于力偶矩。

平面力偶系可以合成为一个合力偶，合力偶矩等于各分力偶矩的代数和，即

$$m=m_1+m_2+\cdots+m_n=\Sigma m_i$$

平面力偶系的平衡条件是合力偶矩为零，即

$$\Sigma m_i=0$$

3. 力的平移定理

所谓“力的平移”，就是把作用在刚体上的一力，从其原位置平行移动到该刚体上另一位置。一个力平移后即引出一个附加力偶，以维持该力在原位置对刚体的效应。附加力偶矩等于原力对其新作用点之力矩，转动方向决定于原力绕新作用点的旋转方向，力平行移动的这一规律就称为力的平移定理。

四、平面一般力系的简化与平衡

1. 平面一般力系的简化

平面一般力系的简化，以力的平移定理为基础，将平面一般力系向作用面内任意一点简化，从而将原力系转化为一个平面汇交力系和一个平面力偶系。平面汇交力系合成为一个合力$\boldsymbol{R}'$，它等于原力系中各力的矢量和，称为原力系的主矢量，即

$$\boldsymbol{R}'=\boldsymbol{F}_1+\boldsymbol{F}_2+\cdots+\boldsymbol{F}_n=\Sigma\boldsymbol{F}$$

显然，主矢量决定于原力系中各力的大小和方向，而与简化中心的位置无关。求主矢量的大小和方向，与求平面汇交力系合力的大小和方向一样，即

$$
\left.\begin{aligned}
R' &= \sqrt{(\Sigma X)^2 + (\Sigma Y)^2} \\
\operatorname{tg}\alpha &= \frac{\Sigma Y}{\Sigma X}
\end{aligned}\right\}
$$

平面力偶系可以合成为一个合力偶，其力偶矩为 M_0^*，称为原力系的主矩，即

$$M_0^* = m_1 + m_2 + \cdots + m_n = \Sigma M_0(\boldsymbol{F})$$

对于已给定的力系来说，主矩的大小及其转向取决于简化中心的位置。

综上所述，可得如下结论：在一般情况下，平面一般力系向其作用面内任一点简化，得到一个主矢量和一个主矩。这个主矢量等于原力系中各力的矢量和，主矩等于原力系中各力对简化中心之矩的代数和。

2. 平面一般力系的简化结果分析　合力矩定理

将平面一般力系向其作用面内任意一点简化，可能出现以下四种情况：

(1) $\boldsymbol{R}'=0, M_0^*=0$，即主矢量和主矩都等于零，这表示原力系是一个平衡力系。

(2) $\boldsymbol{R}'=0, M_0^* \neq 0$，即主矢量等于零，但主矩不等于零，这表示原力系合成为一个力偶，而没有合力。这个力系的合力偶矩等于主矩。根据力偶的性质，力偶对任意点之矩恒等于力偶矩，所以，在主矢量为零的情况下，主矩就与简化中心的位置无关。

(3) $\boldsymbol{R}' \neq 0, M_0^*=0$，即主矢量不等于零，但主矩等于零，这表示原力系合成一个合力，就是作用在简化中心的主矢量。

(4) $\boldsymbol{R}' \neq 0, M_0^* \neq 0$，即主矢量和主矩都不等于零。这还不是最后的结果，尚可进一步简化。根据力的平移定理的逆过程，可以将主矢量 $\boldsymbol{R}'$ 和主矩 M_0^* 进一步合成为一个合力 $\boldsymbol{R}$。

平面一般力系的合力对其作用面内任意一点之矩，等于各分力对同一点之矩的代数和，这就是合力矩定理，即

$$M_0(\boldsymbol{R}) = \Sigma M_0(\boldsymbol{F})$$

3. 平面一般力系的平衡条件和平衡方程

平面一般力系向任一点简化的结果，若是主矢量 $\boldsymbol{R}'=0$，主矩 $M_0^*=0$，则表示原力系为平衡力系。刚体在平面一般力系作用下的平衡条件是力系的主矢量和主矩皆为零，即

$$
\left.\begin{aligned}
\boldsymbol{R}' &= 0 \\
M_0^* &= 0
\end{aligned}\right\}
$$

或

$$
\left.\begin{aligned}
\Sigma X &= 0 \\
\Sigma Y &= 0 \\
\Sigma M_0(\boldsymbol{F}) &= 0
\end{aligned}\right\}
$$

上式即为平面一般力系的平衡方程。其中前两式称为力的投影方程，表示力系平衡时，所有力在任选的两直坐标轴上投影的代数和等于零。第三式称为力矩方程，表示平衡力系中所有力对任一点之矩的代数和等于零。

例 1-2　如图 1-2(*a*)所示，手动水泵的水平手柄上施力 $P=200$ N，图上尺寸单位为 mm。求图示位置时连杆所受的力、铰链 A 的反力和水压力 Q 的大小。

解　这是个物系平衡问题，先研究手柄 AD 的平衡，画出受力图如图 1-2(*b*)。连杆反力 S 沿着连杆轴线方向，它与铅垂线夹角 α 可由几何尺寸求得：

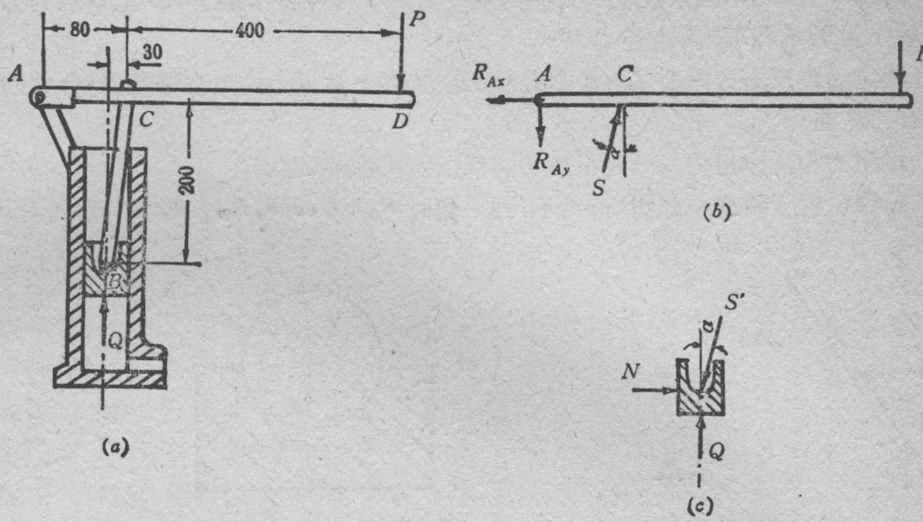


图 1-2

$$\mathrm{tg}\alpha=\frac{30}{200}=0.15$$

$$\alpha=8.5^\circ$$

列出手柄的平衡方程:

$$\Sigma M_A=0 \qquad S\times 80\cos\alpha-P\times 480=0$$

$$\therefore \qquad S=\frac{200\times 480}{80\times \cos 8.5^\circ}=1213\ \mathrm{N}$$

$$\Sigma X=0 \qquad S\sin\alpha-R_{AX}=0$$

$$R_{AX}=1213\times \sin 8.5^\circ=179.3\ \mathrm{N}$$

$$\Sigma Y=0 \qquad S\cos\alpha-P-R_{AY}=0$$

$$R_{AY}=1213\times\cos 8.5-200=999.7\ \mathrm{N}$$

再研究滑块(活塞) B 的平衡,画出受力图如图 1-2(c),列出平衡方程:

$$\Sigma Y=0 \qquad Q-S\cos\alpha=0$$

$$Q=S\cos\alpha=1213\times\cos 8.5^\circ=1199.7\ \mathrm{N}$$

静力学是工程力学的基础。静力学主要研究两个问题,即作用在刚体上力系的简化方法和刚体在力系作用下的平衡条件。对于一个平衡力系来说,简化的目的在于寻求其平衡条件,列、解平衡方程,求出未知量。对于平面一般力系,平衡问题的解题步骤可归纳如下:

(1) 确定研究对象,取分离体,作出受力图。

(2) 建立适当的直角坐标系和选取适当的矩心,列出平衡方程。

(3) 解平衡方程,求出未知量。

III. 思考题与习题答案

一、思考题

1. “合力一定大于分力”这种说法对不对?为什么?举例说明。

2. 如图 1-3 所示，当求铰链C处的约束反力时，可否将作用于AC上D点的力沿作用线移动变成作用于杆BC上E点的力P'？

3. 确定约束反力方向的基本原则是什么？工程上常见的约束有哪些类型？它们的约束反力各沿什么方向？

4. 作用力和反作用力与一对平衡力有何区别？试举例说明。

5. 钢管C置于斜槽中如图1-4所示，当平衡时$R_A=G\cos\theta, R_B=G\cos\theta$，对不对？为什么？

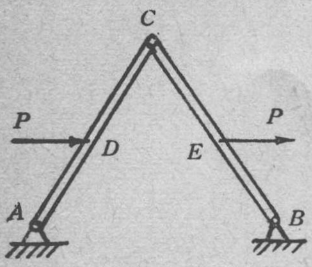


图 1-3

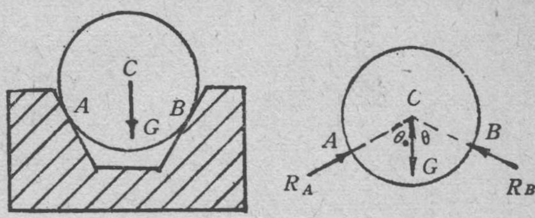


图 1-4

6. 司机操纵方向盘时，可用双手施加一力偶，也可单手施加一个力，这两种方式是否得到同样效果？这是否说明一个力与一个力偶可等效？为什么？

7. 怎样将平面一般力系向已知点简化？简化的结果是什么？怎样由主矢量和主矩求平面一般力系的合力？

8. 什么是固定端约束？固定端约束限制物体什么运动？它有什么样的约束反作用？方向或转向怎样确定？

二、习题答案(教材 p. 32—37)

1-10 $T=34.64\ \text{kN}; P=17.32\ \text{kN}$

1-11 $T_{AB}=20\ \text{kN}; S=34.64\ \text{kN}$

1-12 $N_{AB}=0; N_{AC}=34.64\ \text{kN}$

1-13 $T=0.732\ \text{kN}; N_C=1.414\ \text{kN}$

1-14 $T_B=1.15G; X_A=-0.58G, Y_A=G$

1-15 $m_1=600\ \text{N}\cdot\text{m}$

1-16 $N_A=22\ \text{N}$

1-17 $X_B=2000\ \text{N}; X_A=2000\ \text{N}, Y_A=800\ \text{N}$

1-18 $P=346\ \text{N}; X_A=173\ \text{N}, Y_A=200\ \text{N}$

1-19 $X_B=10\ \text{kN}; X_A=10\ \text{kN}, Y_A=20\ \text{kN}$

1-20 $N_{BC}=8.64\ \text{kN}; X_A=-6.11\ \text{kN}, Y_A=2.89\ \text{kN}$

1-21 $N_A=-18\ \text{kN}; N_B=18\ \text{kN}$

1-22 $N_D=26.48\ \text{kN}; X_A=22.9\ \text{kN}; Y_A=-2.26\ \text{kN}$

1-23 $X_A=1.48\ \text{kN}, Y_A=9.35\ \text{kN}; m_A=-37.27\ \text{kN}\cdot\text{m}$

1-24 $P_{\max}\leqslant 84\ \text{kN}$

1-25 $X_A=-180\ \text{N}, Y_A=-1000\ \text{N}; Q=1200\ \text{N}$

1-26 $T=\dfrac{Pa\cos\alpha}{2h}$

第二章　直杆的拉伸与压缩

（大纲规定学时数：6）

I. 基本要求

1. 掌握轴向拉伸与压缩的概念，掌握拉伸与压缩时的内力和应力概念以及研究内力的基本方法——截面法。
2. 掌握轴向拉伸与压缩的变形规律——虎克定律。
3. 了解拉伸压缩时材料的机械性质。
4. 掌握轴向拉伸压缩的强度条件和强度计算。
5. 了解热应力和应力集中的概念。

II. 学习提要

一、轴向拉伸与压缩的概念

在工程实际中，构件的形状是很多的，如果构件的长度比它的横向尺寸大的多，这样的构件就称为杆件；如果杆的轴线是直线，而且各截面都相等，这样的杆称为等截面杆。除此之外，还有曲杆、变截面直杆等。这里我们主要研究等截面直杆。

1. 拉伸

当杆件受到作用线与杆的轴线重合的大小相等、方向相反的两个拉力作用时，杆件将产生沿轴线方向的伸长。这种变形称为轴向拉伸。

2. 压缩

当杆件受到作用线与杆的轴线重合的大小相等、方向相反的两个压力作用时，杆件将产生沿轴线方向的缩短，这种变形称为轴向压缩。

二、拉伸和压缩时的内力　截面法

1. 内力

构件在不受外力作用时，其内部各质点之间存在相互作用的力，也就是说，构件内部本来就有内力存在。当杆受到外力作用而变形时，其内部各质点之间的相对位置要发生改变，伴随着这种改变，各质点之间原有的相互作用力也必然跟着发生变化。这种由于外力作用而引起的各质点之间相互作用力的改变量，称为“附加内力”，简称内力。

2. 截面法

研究内力的基本方法是截面法。截面法可以概括为以下几步：

(1) 在要求内力的截面处，假想地将杆件截成两段，如图 2-1 所示。

(2) 取任意一段(如左段)为研究对象，而把另一段对这一段的作用以内力代替，在截面上画出，使其与作用在该段上的外力相平衡，如图 2-1(b)。

(3) 用平衡方程求解内力，即

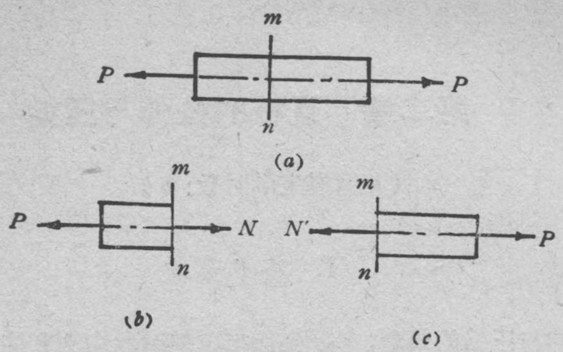


图 2-1 用截面法求拉伸(压缩)时的内力

$$\Sigma X=0 \qquad N-P=0$$

则

$$N=P$$

如果杆件在轴线内只受到两个外力的作用时,各横截面上的内力是相同的;如果在杆件的轴线方向有两个以上的外力作用时,杆件的不同部分其横截面上的内力是不同的。对杆件作强度计算时,都要以杆的最大内力为依据,为此,就必须知道杆件的各个横截面上的内力,以确定其最大内力。

三、拉伸和压缩时的应力

1. 应力的概念

截面上的内力是连续分布的,截面面积小的杆,内力的集度(内力在截面上分布的密集程度)就大;反之,截面面积大的杆,内力的集度就小。可见,杆件的强度与其截面上内力的集度有关。为了描述内力在杆件内某一截面上的分布情况,我们引入"应力"的概念。所谓应力就是指作用在单位面积上的内力值,应力表示了内力的集度。

应力分为正应力和剪应力。垂直于横截面的应力称为正应力,用 σ 表示;平行于横截面的应力称为剪应力,用 τ 表示。在国际单位制中,应力的单位是牛顿/米^2(N/m^2),又称为帕斯卡(简称帕 Pa)。在实际应用中,应力单位往往用兆帕(MPa),$1MPa=10^6\ Pa=1\ N/mm^2$。

2. 轴向拉伸与轴向压缩时横截面上的正应力

要求出横截面上任意一点的应力,必须先知道内力在横截面上的分布规律。研究内力的分布规律可以从研究杆件的变形入手。

研究杆件的变形,通过观察实验现象,可以得出一个假设:杆件变形前为平面的横截面,变形后仍为平面,这个假设称为平面假设。那么,当杆件受到轴向拉伸(或压缩)时,横截面上各点的纵向伸长(或缩短)是相同的,因此,可以得出以下结论:当杆件受到轴向拉伸(或压缩)时,横截面上的内力是均匀分布的(即横截面上各点的应力大小相等),应力的方向与横截面垂直,即为正应力 σ,其计算公式为

$$\sigma=\frac{N}{A}$$

式中: N——横截面上的内力,N;

A——横截面面积,m^2;

σ——正应力,Pa。

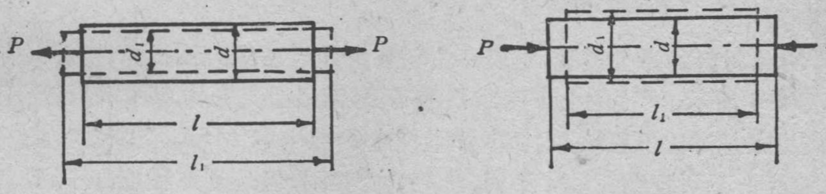
通常规定: 拉应力为正,压应力为负。

三、轴向拉伸(压缩)的变形　虎克定律

1．纵向变形

杆件拉伸或压缩(图 2-2)时，它的长度将发生变化。如果杆件原长为 l，变形后的长度为 l_1，那么，杆的长度变化为

$$\Delta l=l_1-l$$



(a)　(b)

图 2-2

Δl 称为杆件的绝对变形。

杆件的绝对变形是随着杆的原长度不同而改变的，就是说 Δl 只能反映杆件的总变形量，而无法说明杆件的变形程度。欲反映杆件的变形程度，需采用杆件在单位长度上的变形量来度量其纵向变形，即

$$\varepsilon=\frac{\Delta l}{l}$$

式中 ε 称为杆件的相对变形，也称为纵向应变或线应变，简称应变。

2．横向变形

杆件轴向伸长(或缩短)时，它的横向尺寸将缩短(或伸长)，横向变形是与纵向变形有关的。如图 2-2 所示，杆件的横向绝对变形为

$$\Delta d=d_1-d$$

横向应变为

$$\varepsilon'=\left|\frac{\Delta d}{d}\right|$$

实验证明，在弹性范围内，横向应变与纵向应变之比的绝对值为一常数，即

$$\mu=\left|\frac{\varepsilon'}{\varepsilon}\right|=\text{常数}$$

μ 称为横向变形系数，也称为泊松比。

3．虎克定律

杆件受轴向拉伸或压缩时，变形与力之间存在着一定的关系。实验证明：当应力未超过材料的某一极限时(即材料在弹性范围内)，杆的绝对变形 Δl 与内力 N 及杆原长度 l 成正比，而与横截面面积 A 成反比，即

$$\Delta l\propto\frac{N\cdot l}{A}$$

引进比例常数 E，可得

$$\Delta l=\frac{N\cdot l}{E\cdot A}$$

上式就是虎克定律。